干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

基于土地利用转移流的国土空间格局演变及其驱动机制研究
——以宁夏原州区为例

马彩虹， 安斯文， 文 琦， 滑雨琪， 李聪慧
（宁夏大学地理科学与规划学院，宁夏 银川 750021）

摘 要：提出了基于土地利用转移流的溯源分析法，结合社会网络分析方法与核密度分析法，探究了2000—2018年原州区国土空间格局演变及其动力机制。结果表明：(1) 原州区的三生空间向生产空间增效、生活空间扩容、生态空间提质的方向演化，生产、生活和生态用地结构由2000年的44.76%、2.90%、52.34%调整为2018年的41.17%、6.29%、52.54%。(2) 原州区的三生空间变化与现行国土空间优化目标有较高的契合度，生态用地的转入主要发生在不宜耕作或不宜居住的区域，体现"生态空间山清水秀"导向；生产空间通过坡改梯田、提供灌溉条件以提升水土资源集约利用水平，体现"生产空间集约高效"导向；生活空间的扩张主要发生在居住条件更为适宜的河谷区，体现"生活空间宜居"导向。(3) 三生空间格局演变表现出明显的空间集聚性，呈现出六盘山阴湿区为带状高值区、黄土丘陵沟壑区为散点高值区、清水河谷为团块状高值区的特征，且不同地类变化的空间集聚性特征有所不同。(4) 基于土地利用转移流溯源法提出了原州区三生空间演变的"动力-响应-结果"传导性动力机制；生态建设是国土空间格局演变最重要的驱动力，其次是水土资源集约利用，二者为国土空间格局优化作出重要贡献；水土流失是各类用地向未利用地转化的重要动力，今后仍需加大对水土流失的治理。通过探究经济与生态双重制约区国土空间变化特征及其动力机制，为国土空间优化提供决策参考。

关 键 词：国土空间优化；三生空间；土地利用转移流；动力机制；原州区
文章编号：

国土空间系统是土地自然生态要素和人类社会经济要素相互作用下形成的动态复杂巨系统[1]，依据功能可分为生产、生活和生态"三生"空间[2]。改革开放以来，随着人口增长和快速城市化的推进，三生空间冲突日益严重[3-4]。党的十八大报告提出了"生产空间集约高效、生活空间宜居适度、生态空间山清水秀"的目标框架，掀起了三生空间的研究热潮[5-6]。三生空间演变是自然地理因素和人类活动共同作用的结果[7]，不同尺度和不同地域类型下驱动因子和动力机制差异显著[8-9]。在流域、省市县等尺度下，人口增长、经济发展和技术进步是较为普遍的驱动因子，如赵瑞等[10]通过主成分分析法得出人口增长和经济发展、农业技术进步是推动京津冀都市圈三生空间变化的主因；宋永永等[11]运用地理探测器中的因子探测和交互作用探测模块，发现城镇化、工业化及生态政策是黄河流域国土空间格局演化的关键动力；甘娜等[12]对川滇藏交界区域三生空间重构的驱动因子进行分析，认为在生态脆弱区或重要生态功能区宏观政策的驱动效应显著；董建红等[13]运用偏最小二乘法揭示三生空间的驱动机制，发现生态政策、人口增长、对外贸易等是甘肃省国土空间格局调整的重要驱动力；焦庚英等[14]通过冗余分析方法对婺源县的研究表明，旅游产业的快速发展是该县三生空间格局演变的核心驱动

收稿日期：2021-08-09； **修订日期**：2021-10-25
基金项目：宁夏重点研发项目(2021BEG03019)；国家自然科学基金项目(41761034，41961034，42061037)资助
作者简介：马彩虹(1974-)，女，博士，教授，主要从事国土空间优化与生态系统服务管理等方面的研究. E-mail: mchyanni@nxu.edu.cn
通讯作者：文琦(1979-)，男，博士，教授，主要从事乡村地理等方面的研究. E-mail: Wenqi98@163.com

力；王全喜等[15]采用双变量局部空间自相关分析法探究了武山县的国土空间格局演变，指出区域一体化发展在武山县三生格局演变中起重要作用。村域尺度下三生空间的演变与宏观和中观尺度明显不同，如于正松等[16]运用参与式农村评估(PRA)法对河南省曲沟镇的研究中发现，能人的带动效应和产业结构调整对于工业镇的三生空间演变驱动效应显著；范艺娜等[17]采用半结构式访谈和参与式社区资源图法开展村域尺度三生空间演变分析，认为惠农政策和农业技术创新是影响村域尺度三生空间格局演变的关键驱动力。

综上所述，学界采用主成分分析法、地理探测器、冗余分析法、偏最小二乘法、半结构访谈法等多种方法，开展了不同尺度的三生空间演变的驱动力研究，为该领域的研究奠定了良好的基础[18-21]，但仍存在需要探索的方面：一是这些方法各有优势，但总体来说属于推断性估计类分析法，研究结果存在不确定性，也给不同时空尺度的研究结果比较带来一定困难；二是对驱动因子的识别较多，动力机制有待加强[22-24]。马彩虹等[25]提出的土地利用转移流研究法，综合考虑土地利用变化的矢量属性，能够定量追踪不同时期土地利用变化的数量、方向和结构特征[26]，在国土空间演变驱动力分析方面具有独特优势。本文采用土地利用转移流进行宁夏固原市原州区国土空间格局演变的驱动力溯源分析，以期为国土空间格局演变驱动力分析探索新的思路与方法。

1 研究区、数据与方法

1.1 研究区概况

原州区地处宁夏南部，曾名固原县(2002年更名)，地理位置位于106°00′~106°30′E、35°45′~36°31′N，辖7镇4乡3个街道办事处，面积2739.01 km^2(图1)，属半湿润半干旱气候带、北方农牧交错带。依据地形特征可划分为六盘山阴湿区(面积占33.2%)、清水河谷平原区(20.5%)和黄土丘陵沟壑区(46.3%)。受陡坡开荒、林木采伐、草原过牧及矿山开采等人类不合理活动的影响，水土流失现象突出，旱灾、冻害、雹灾等自然灾害频繁。农户生计脆弱，以苦甲天下著称，人地矛盾突出，被联合国教科文组织认为是人类不宜生存的地区，是我国“三西”

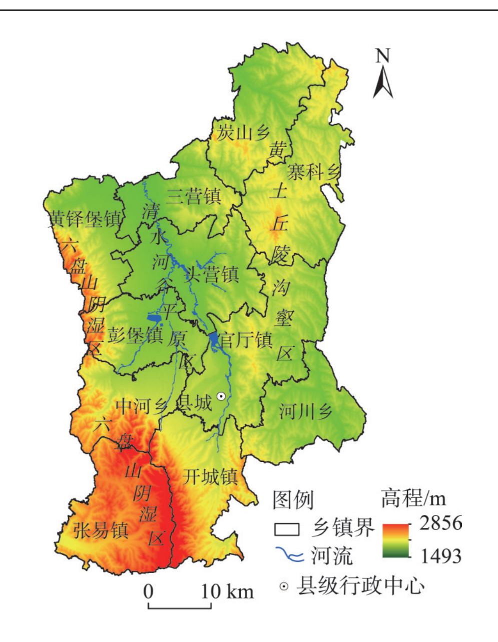


图1 研究区概况

Fig. 1 Overview of the study area

(河西、定西、西海固)扶贫的重点区域，也是国家精准扶贫时期的深度贫困区县，于2020年3月脱贫摘帽。改革开放以来，经济有了较快发展，城镇化水平有所提升，但仍存在竞争力不高、无序开发挤占生态空间、土地利用效率低下等问题。

1.2 数据来源与处理

2000年7—8月的TM影像数据来源于中国地理空间数据云，使用ArcGIS 10.6软件对校正后的数字影像进行拼接、分割和融合处理，结合野外勘验资料，建立解译标志，人机交互方式解译，并对结果数据进行精度检验，检验精度达85%以上；2018年数据为地理国情矢量数据。由于行政区划调整，文中涉及地名和区划范围以原州区行政区划现状为准。

1.3 研究方法

1.3.1 三生用地分类体系 参照主导功能法分类体系[2,27-29]，结合《土地利用现状分类》GB/T 21010-2007和GB/T 21010-2017、中科院地理所遥感解译数据分类系统，将原州区的土地利用类型分为10类(表1)，地类名称以《土地利用现状分类》GB/T 21010-2017作为标准。

1.3.2 定量分析方法 基于土地利用转移流的溯源分析法。土地利用转移流具有标记流向和数量的属性。本文提出了基于土地利用转移流的溯源分析法，追溯土地利用变化的驱动因子及其贡献率。在土地利用变化中，设定T期的土地利用代码为C_t，

表1　原州区三生用地分类体系与土地利用分类体系的衔接

Tab. 1　Connection between classification of production-living-ecological space and classification of land use in Yuanzhou District

三生用地	土地利用类型及代码	主导功能
生产用地	水浇地(1)、旱地(2)、园地(3)	主要为农业生产用地
生活用地	乡村居民点(4)、城镇用地和其他建设用地(5)	主要从事第一、二、三产业为生的农村居民居住和生活的用地空间、基础设施建设等
生态用地	林地(6)、天然牧草地(7)、其他草地(8)、水域(9)、未利用地(0)	主要起调节、维护、保障区域生态安全的作用

T+1期的代码为C_{t+1}，将T期和T+1期的土地利用进行叠加分析，通过代码运算生成土地转移流代码。如T期某图斑为旱地，代码取2，T期中该图斑中出现2种用地类型水浇地和园地，对应代码编为21和23，采用面积统计器计算转移数量。土地利用转移编码(C_n)公式如下：

$$C_n=C_t×10+C_{t+1} \quad (1)$$

社会网络分析法。采用Ucinet 6.186进行土地利用转移网络制图与分析。对土地利用类型采用代码方法表示，对转移方向标注箭头，并依据土地利用转移流的数量比例对线型进行量化示意，并标记重要转移流的数量。

核密度分析法。采用ArcGIS密度分析模块，对土地利用转移斑块转换生成点格式数据，以斑块的面积作为value进行核密度制图，生成土地利用转移率(单位为%)栅格图。

2　结果与分析

2.1　原州区三生用地动态变化分析

2.1.1　*原州区三生用地结构变化*　2000—2018年，原州区的生产用地由12.25×10⁴ hm²减少为11.27×10⁴ hm²，生活用地由0.79×10⁴ hm²扩张到1.72×10⁴ hm²；生态用地14.33×10⁴ hm²增为14.38×10⁴ hm²；生产、生活和生态用地结构由2000年的44.76%、2.90%、52.34%调整为2018年的41.17%、6.29%、52.54%。这种变化与生态保护和修复政策、农田水利建设以及城市化发展密切相关。1999年国家开始了退耕还林政策，原州区大于15°坡地渐次退耕还林；固海扩灌扬水工程也于1999年破土动工。随着水利建设工程的实施和扬黄节水重大项目的持续推进，清水河谷地的旱地大幅减少，水浇地显著增加；随着农业产业机构的调整，园地面积略有扩张。研究时段内，原州区的城市化也以较快的速度推进，使得生活用地扩张迅速。生态用地总量呈弱增态势，但林地面积增加较为迅速，其他草地大幅减少，生态用地结构有所优化、质量有所提升(表2)。

表2　2000—2018年原州区三生用地面积变化

Tab. 2　Area change of the production-living-ecological space structure in Yuanzhou District during 2000—2018　/10⁴ hm²

三生用地	用地类型	2000年	2018年	变化值
生产用地	水浇地	0.00	1.36	1.36
	旱地	12.06	9.77	−2.29
	园地	0.19	0.14	−0.05
	小计	12.25	11.27	−0.98
生活用地	乡村居民点	0.71	1.06	0.35
	城镇用地及其他建设用地	0.08	0.66	0.58
	小计	0.79	1.72	0.93
生态用地	林地	1.86	6.58	4.72
	天然牧草地	3.64	2.97	−0.67
	其他草地	8.04	3.83	−4.21
	水域	0.31	0.29	−0.02
	未利用地	0.48	0.71	0.23
	小计	14.33	14.38	0.05

2.1.2　*原州区三生用地转移网络结构特征*　不同地类之间产生了错综复杂的转移流，且转移数量有显著差异(图2)。转移流较大的地类有旱地、林地、天然牧草地、其他草地，构成了原州区土地利用转移的关键地类。这几种地类之间的转移流形成的一级转移流和二级转移流是该转移网络的基本骨架，决定了原州区土地利用转移的基本特征。

对占比大于1%的转移流按坡度统计(图3)，发现转向高功能生态用地的地域主要发生在海拔较高、坡度较大的不宜耕种和不宜居住生活的区域，体现“生态空间山清水秀”导向。其中，旱地向林地的转移面积占总面积的7.73%，主要发生于坡度5°~15°地域；其他草地转林地面积占总面积的8.25%，主要发生于坡度5°~15°地域；通过宜林地的植树造

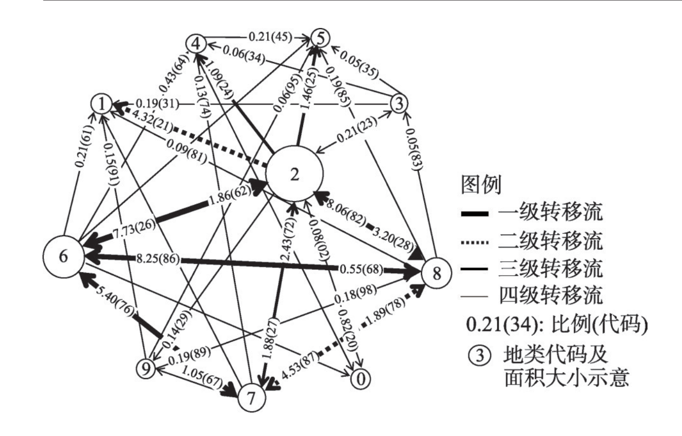


图2 2000—2018年原州区三生用地利用转移网络

Fig. 2 Transfer flow net of production-living-ecological space in Yuanzhou District during 2000—2018

林和荒山自然封育,天然牧草地向林地的转移面积占总面积的5.40%,其他草地向天然牧草地的转移面积占总面积的4.53%,主要发生在坡度5°~25°地域。对坡度适宜区域进行坡改梯田、对平缓河谷地带增加灌溉条件,体现"生产空间集约高效"导向。其他草地向旱地的转移面积占总面积的8.06%,主要发生于坡度5°~15°地域,以梯田建设为主;旱地改水浇地面积占总面积的4.32%,主要发生在坡度0~5°地域。生活空间的扩张发生在居住条件更为适宜的地域,体现"生态空间宜居"导向。乡村居民点占用旱地面积占总面积的1.09%,城市扩张及其他建设用地占用旱地面积占总面积的1.46%,主要发生在坡度0~5°地域。

2.2 原州区三生空间格局演变特征分析

2.2.1 原州区三生空间格局变化 2000年原州区的农业生产用地以旱地为主,主要集中分布于中部清水河谷,其他散布于黄土丘陵沟壑区和六盘山阴湿区;生态用地以其他草地最为广泛,主要分布于东部的黄土丘陵沟壑区和西部的六盘山阴湿区,天然牧草地主要分布于黄土丘陵沟壑区北部,林地数量较少,主要分布于六盘山阴湿区。城镇用地范围不大,乡村居民点除了六盘山阴湿区较少外,散布于研究区(图4)。

通过土地利用结构的调整和土地整理工程的推进,原州区的三生空间格局明显优化。根据宁发改西部[2010]129号和[2012]233号文件精神,一是大力实施巩固退耕还林"基本口粮田"成果并发展水浇地项目。随着固海扩灌工程的实施,清水河谷平原区部分旱地改水浇地和园地;在水利基础设施相对薄弱原州区东西部的冬至河、茹河等流域退耕农田范围内发展节水灌溉农业,以突出水资源高效利用,促进农业结构调整,提高了农业用地的生产集约性,实现退耕户农业增效和农民增收。与之相应,城乡聚落向中部河谷区集中态势。二是在中部的缓坡丘陵区和西南部的山区缓坡区大力开展土地整理,大量坡耕地和其他草地转为梯田旱地,既保障了居民的口粮田,又提高了水土保持能力。三是随着退耕还林、荒山造林、自然封育等生态恢复措施,形成了环绕原州区中心城区的"U"型森林生态带。2018年,城乡聚落方面以清水河谷平原区较为密集,六盘山阴湿区和黄土丘陵沟壑区较为稀疏;农业生产用地以清水河谷平原区为主;林地和草地主要分布于六盘山阴湿区和黄土丘陵沟壑区。

2.2.2 三生空间格局演变的集聚性特征 原州区的三生用地空间格局重构,在一定程度上体现了山水

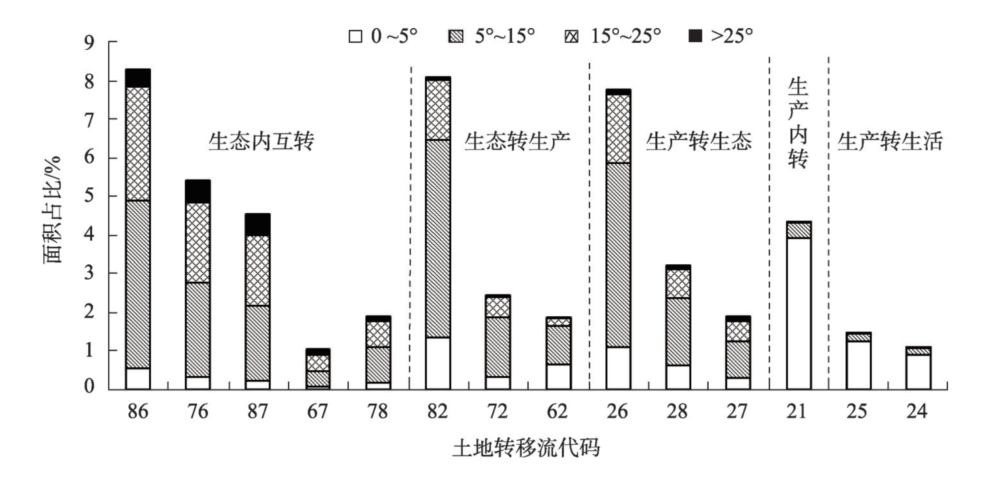


图3 2000—2018年原州区不同坡度三生用地主要转移流

Fig. 3 Transfer flow net of production-living-ecological space in Yuanzhou District during 2000—2018

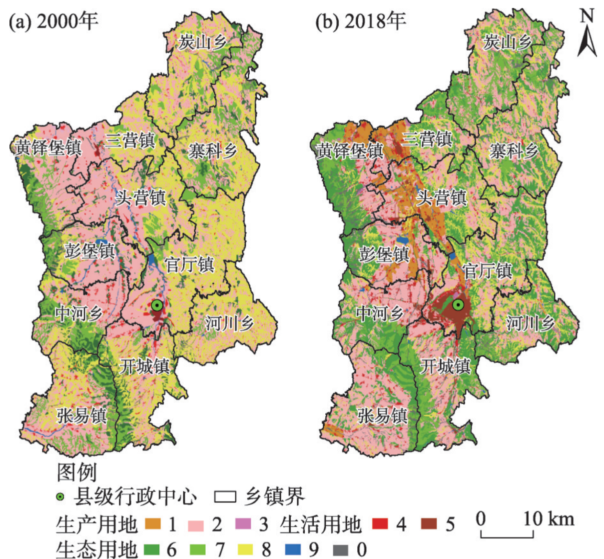


图4 2000年和2018年原州区三生用地空间格局变化

Fig. 4 Changes in spatial pattern of production-living-ecological space in Yuanzhou District in 2000 and 2018

林田湖草生命共同体理论，作为“一盘棋”根据其适宜性进行优化配置，三生空间格局转换呈现出明显空间集聚特征(图5)。

总体上，土地利用转移流在六盘山阴湿区呈现为南北延伸的高值区，黄土丘陵沟壑区为散点式高值区，清水河谷为团块状高值区(图5a)。退耕还林和荒山造林使生态用地增加且质量提升。其中，旱地转林地流的高值区主要发生在六盘山阴湿区海拔1750~2000 m、坡度>15°的坡耕地以及黄土丘陵区(图5b)。六盘山阴湿区南北延伸带和黄土丘陵沟壑区存在草地转林地高值区(图5c)。黄土丘陵沟壑区的“坡改梯”行动和清水河谷区的“旱改水”行动形成生产用地质量提升集聚区。随着基本口粮田建设工程推进，对10°~15°的坡耕地以及其他宜农荒地一并整理新建梯田，在炭山乡、寨科乡、头营镇、官厅镇、开城镇以及中河乡、张易镇等乡镇形

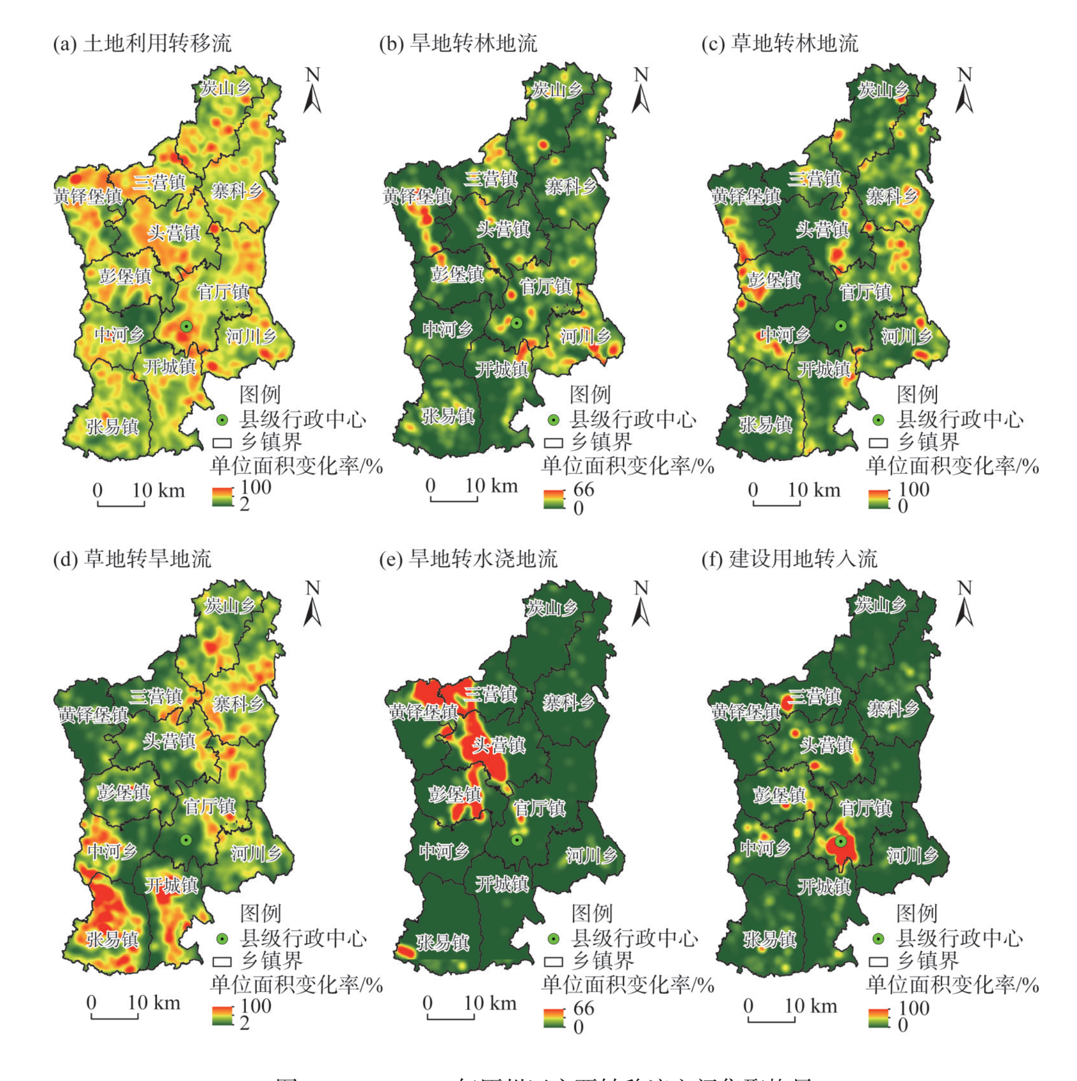


图5 2000—2018年原州区主要转移流空间集聚格局

Fig. 5 Spatial agglomeration pattern of main transfer flows in Yuanzhou District during 2000—2018

成高值区(图5d)。随着固海扩灌工程的实施,在清水河谷推行"旱改水"行动,在黄铎堡镇、三营镇、头营镇、彭堡镇等乡镇形成高值区(图5e)。原州区在辐射与带动宁夏南部区县的发展中具有重要作用,城镇人口比例由2000年的16.47%增长为2018年的51.19%,城区扩张迅速,形成以城区和重点乡镇为核心的高值区(图5f)。

2.3 原州区国土空间格局演变的驱动机制

原州区受经济发展水平低下和生态环境脆弱双重制约。历经八七扶贫计划、东西对口扶贫协作、精准扶贫等多个阶段,向县外迁移人口7.8×10^4人,县内由山区向河谷区迁移3.67×10^4人。生态移民工程推行的主要目的是解决原州区人口超载问题;生态恢复和重建则主要是针对原州区的生态脆弱问题;扶贫开发主要是建立生态经济体系从而为贫困区县的发展赋能。与上述宏观政策相呼应,依据作用于三生空间的转移流进行驱动力归因,提出了生态移民与乡村建设、城市化与工业化、水土资源集约利用、生态建设等驱动因子。在上述驱动因子的作用下产生了规模不等的土地利用转移流,不同的转移流作用于相应的地域空间对象层,导致三生空间数量结构和空间结构变化,基于此,提出了由"动力层-响应层-结果层"构成国土空间演变的动力机制(图6)。

采用溯源分析方法,从三生数量变化和格局变化分析入手,依次梳理导致生活空间、生产空间和生态空间变化的土地利用转移流,推演驱动因子类型,并依据土地利用转移流所占比例来定量测度驱动因子的贡献率大小。2000—2018年原州区的土地利用转移流为15.96×10^4 hm^2,占原州区总面积的58.35%,据此推演的各类驱动因子贡献率如表3所示。生态建设是最主要的驱动因子,对原州区三生空间的驱动贡献率高达49.40%。退耕还林、荒山造林、自然封育等生态建设行动,植被覆盖度明显提升,涵养水源能力、生物多样性保护功能显著提升。为解决水土流失严重的问题,先后开展了茹河一期、马什好、开城、杨达子沟、冬至河等水土保持综合治理工程,改善了山区坡耕地就地拦蓄径流和泥沙的能力。其次是水土资源集约节约利用,对三生空间格局调整的贡献率达到31.01%。固海扩灌工程以及近20 a川道旱地转水浇地、坡耕地改宽幅梯田的建设,有效保持了水土,改善了农业生产及生态条件,提升了水土资源集约利用水平。生态移民与乡村建设、城市化和工业化的贡献率都比较低。生态移民与乡村建设对三生空间的贡献率仅为2.94%,城市化与工业化对三生空间格局驱动的

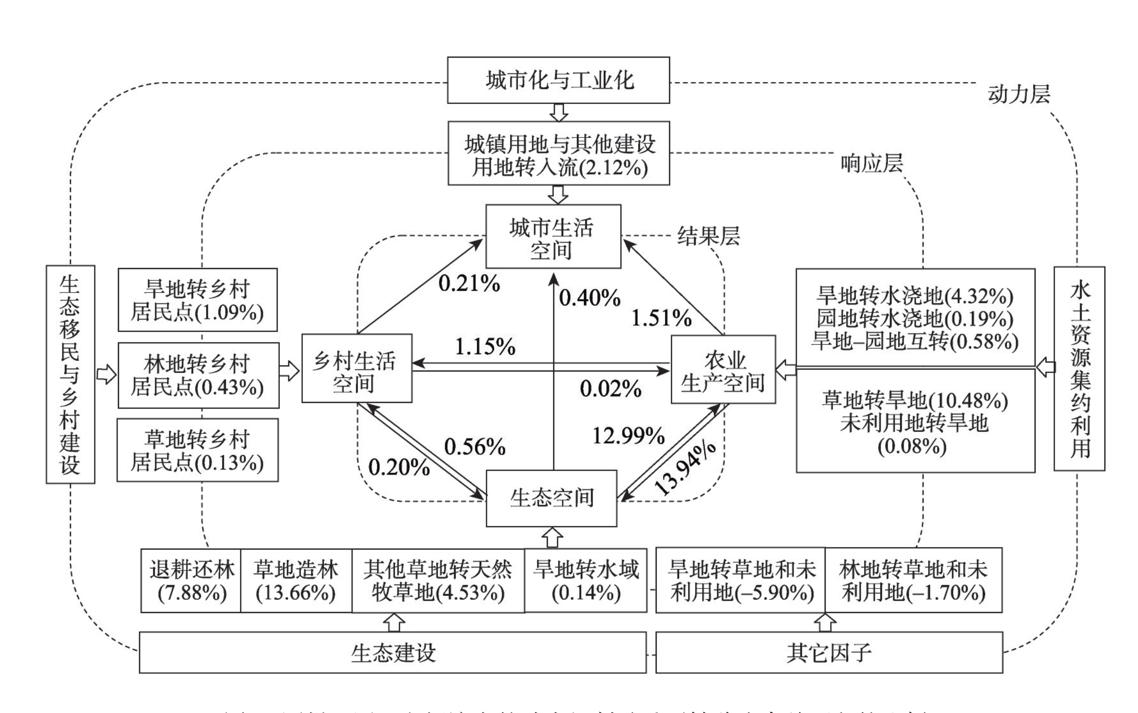


图6 原州区国土空间演变的动力机制及重要转移流占总面积的比例

Fig. 6 Dinamic mechanism of territorial space evolution and the proportion of important land use transfer flows to total area in Yuanzhou District

表3 原州区国土空间演变驱动力贡献率

Tab. 3 Driving force contribution rate of territorial spatial evolution in Yuanzhou District

驱动因子	三生用地转移	转移流面积/10^4 hm^2	转移流面积比例/%	驱动因子贡献率/%
生态移民与乡村建设	农业生产用地转乡村生活用地	0.31	1.15	1.97
	生态用地转乡村生活用地	0.15	0.56	0.97
	小计	0.47	1.72	2.94
城市化和工业化	农业生产用地转城镇用地和其他建设用地	0.41	1.51	2.58
	乡村生活用地转城镇用地和其他建设用地	0.06	0.21	0.37
	生态用地转转城镇用地和其他建设用地	0.11	0.40	0.68
	小计	0.58	2.12	3.63
水土资源集约利用	生态用地转农业生产用地	3.55	12.99	22.25
	乡村生活用地转农业生产用地	0.01	0.02	0.03
	农业生产用地内部转移	1.39	5.09	8.72
	小计	4.95	18.10	31.01
生态建设	农业生产用地转生态用地	3.81	13.94	23.89
	乡村生活用地转生态用地	0.06	0.20	0.35
	生产用地内部由低功能用地转高功能用地	4.02	14.68	25.16
	小计	7.88	28.82	49.40
水土流失	旱地、林地、草地等转为未利用地	2.08	7.60	13.02
	小计	2.08	7.60	13.02
	合计	15.96	58.35	100.00

贡献率为3.63%。需要注意的是，水土流失仍然是各类用地向未利用地转化的重要动力，占13.02%，今后仍需加大对水土流失的治理。

3 讨论

（1）基于土地利用转移流的国土空间演变溯源分析方法

土地利用转移流是采用土地利用转移矩阵计算转移数量，通过土地利用转移图斑的源代码和目标代码，从而实现对土地利用转移的来龙去脉和数量进行定量分析的一种方法。依靠土地利用转移流的流向，采用演绎法可以定性分析驱动该土地利用发生变化的原因，从而确定推动土地利用变化的驱动因子。以土地利用转移流的分析分别向原因端和结果端推演，建立了“驱动因子–土地利用转移流–三生空间演变”的“动力–响应–结果”传导性驱动机制。溯源分析发现，生态移民与乡村建设、城市化与工业化、水土资源集约利用、生态建设、水土流失是推动原州区国土空间格局演变的驱动力。对各驱动因子涉及的土地利用转移流的比例进行百分制折算，获得不同驱动因子对三生空间格局变化的贡献率。这种基于土地利用转移流溯源分析的驱动机制分析法，可为国土空间驱动力研究提供新的视角。

（2）国土空间格局重构的启示与建议

原州区地处西北干旱地区，降水稀少，植被覆盖率低，生态系统脆弱敏感，长期以来存在“贫困–垦殖–生态恶化–贫困”的恶性循环。近20 a来，原州区在国土空间格局重构中，遵循“山水林田湖草”生命共同体理论，基于“人–地–业”系统“一盘棋”的调控思路，成效显著。针对人口超载问题，“减压”和“扩容”策略兼用，针对脆弱生态系统，主要采取了生态恢复和重建策略；针对贫困问题，首先在人口问题上采用移民搬迁和劳务输出主要手段，为区域减贫作出积极贡献；针对低下的生态经济体系和民生欠账问题，通过建立生态经济体系为区县发展赋能。总体上，以移民搬迁作为破解人地矛盾的突破口，兼顾粮食生产和生态保护双重需求，促进国土空间向生产空间增效、生活空间扩容、生态空间提质方向演化。今后需要进一步落实“两山论”转化需求，加快生态产品价值实现机制的创新，从而有效保障和提升三生空间格局的进一步优化和提质增效。主要措施建议如下，一是重点探索如何建立绿色地理标志产品的研发与规模化发展；二是重点探索如何提供优质生态系统调节与服务产品；三

是要着力考虑如何建立有效的生态产品交易平台与高质量的物流服务体系。

4 结 论

采用土地利用转移流、社会网络分析方法以及核密度分析法，探究了2000—2018年原州区国土空间格局演变及其动力机制。结论如下：

（1）原州区三生空间向生产空间增效、生活空间扩容、生态空间提质的方向演化。2000—2018年生产、生活和生态用地结构由2000年的44.76%、2.90%、52.34%调整为2018年的41.17%、6.29%、52.54%，呈现出生产用地减少、生活用地扩张比例较大、生态用地弱增的特征。

（2）原州区三生用地转移趋势与现行国土空间优化目标有较高的契合度。转向生态用地的地域主要发生在不宜耕作或不宜居住区，体现出“生态空间山清水秀”导向；通过坡改梯田、提供灌溉条件以提升水土资源集约利用水平，体现出“生产空间集约高效”导向；生活空间的扩张主要发生在居住条件更为适宜的河谷区，体现出“生态空间宜居”导向。

（3）三生空间演变的空间集聚特征突出。土地利用转移流在六盘山阴湿区呈现为南北延伸带状高值区、黄土丘陵沟壑区为散点高值区，清水河谷乡镇和县城为团块状高值区。不同关键地类的转移流在空间上呈现出不同的空间集聚特征。

（4）基于土地利用转移流溯源法，提出了原州区国土空间格局演变的“动力-响应-结果”传导性动力机制。生态建设是原州区国土空间格局演变的最重要的驱动力，其次是水土资源集约利用，二者对原州区三生空间演变贡献率分别为49.40%和31.01%；水土流失仍然是各类用地向未利用地转化的重要动力，占13.02%，今后仍需加大对水土流失的治理。

参考文献（References）

[1] 张衍毓, 陈美景. 国土空间系统认知与规划改革构想[J]. 中国土地科学, 2016, 30(2): 11-21. [Zhang Yanyu, Chen Meijing. Spatial systematic cognition and ideas on spatial planning system reform[J]. China Land Science, 2016, 30(2): 11-21.]

[2] 张红旗, 许尔琪, 朱会义. 中国“三生用地”分类及其空间格局[J]. 资源科学, 2015, 37(7): 1332-1338. [Zhang Hongqi, Xu Erqi, Zhu Huiyi. An ecological-living-industrial land classification system and its spatial distribution in China[J]. Resources Science, 2015, 37(7): 1332-1338.]

[3] 韦江伟, 赵锐锋, 李玲慧, 等. 干旱区三生用地时空演变特征及空间冲突研究——以黑河中游地区为例[J]. 水土保持研究, 2021, 28(4): 284-292, 419. [Wei Jiangwei, Zhao Ruifeng, Li Linghui, et al. Study on the spatial and temporal evolution characteristics and spatial conflicts of the land for production-living-ecological in arid areas: A case study of the middle reaches of the Heihe River[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2021, 28(4): 284-292, 419.]

[4] 赵旭, 汤峰, 张蓬涛, 等. 基于CLUE-S模型的县域生产-生活-生态空间冲突动态模拟及特征分析[J]. 生态学报, 2019, 39(16): 5897-5908. [Zhao Xu, Tang Feng, Zhang Pengtao, et al. Dynamic simulation and characteristic analysis of county production-living-ecological spatial conflicts based on CLUE-S model[J]. Acta Ecologicl Sinica, 2019, 39(16): 5897-5908.]

[5] 王威, 胡业翠, 张宇龙. 三生空间结构认知与转化管控框架[J]. 中国土地科学, 2020, 34(12): 25-33. [Wang Wei, Hu Yecui, Zhang Yulong. “Ecological-living-industrial” space structure cognition and transformation control framework[J]. China Land Science, 2020, 34(12): 25-33.]

[6] 江东, 林刚, 付晶莹. “三生空间”统筹的科学基础与优化途径探析[J]. 自然资源学报, 2021, 36(5): 1085-1101. [Jiang Dong, Lin Gang, Fu Jingying. Discussion on scientific foundation and approach for the overall optimization of “production-living-ecological” space[J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(5): 1085-1101.]

[7] 孔冬艳, 陈会广, 吴孔森. 中国“三生空间”演变特征、生态环境效应及其影响因素[J]. 自然资源学报, 2021, 36(5): 1116-1135. [Kong Dongyan, Chen Huiguang, Wu Kongsen. The evolution of “production- living- ecological” space, eco-environmental effects and its influencing factors in China[J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(5): 1116-1135.]

[8] 周鹏, 邓伟, 张少尧, 等. 太行山区国土空间格局演变特征及其驱动力[J]. 山地学报, 2020, 38(2): 276-289. [Zhou Peng, Deng Wei, Zhang Shaoyao, et al. Evolution characteristics and its driving force of territory space pattern in the Taihang Mountain, China[J]. Mountain Research, 2020, 38(2): 276-289.]

[9] 胡玉玺, 吴晓磊, 马世昌, 等. 湿地“三生”空间耦合的系统动力学模型实证分析——以西溪国家湿地公园为例[J]. 经济地理, 2018, 38(7): 173-180. [Hu Yuxi, Wu Xiaolei, Ma Shichang, et al. The system dynamics model for the interactive coupling between wetland ecology, production and living: A case study on Xixi National Wetland Park[J]. Economic Geography, 2018, 38(7): 173-180.]

[10] 赵瑞, 刘学敏. 京津冀都市圈“三生”空间时空格局演变及其驱动力研究[J]. 生态经济, 2021, 37(4): 201-208. [Zhao Rui, Liu Xuemin. Analysis on spatial-temporal changes and driving forces of “production-living-ecological” spaces in Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan area[J]. Ecological Economy, 2021, 37(4): 201-208.]

[11] 宋永永, 薛东前, 夏四友, 等. 近40 a黄河流域国土空间格局变化特征与形成机理[J]. 地理研究, 2021, 40(5): 1445-1463. [Song Yongyong, Xue Dongqian, Xia Siyou, et al. Change characteristics and formation mechanism of the territorial spatial pattern in the Yellow River Basin from 1980 to 2018, China[J]. Geographical Research, 2021, 40(5): 1445-1463.]

[12] 甘娜, 陈红利. 政策因素对川滇藏交界区域三生空间重构的作用——以中央西藏工作座谈会有关生态建设精神为中心[J]. 西藏大学学报(社会科学版), 2021, 36(1): 175-185. [Gan Na, Chen Hongli. The pole of policy factors in the reconstruction of the space for production, life and ecology in the border area of Sichuan, Yunnan and Tibet: Focusing on the spirit of ecological construction at Tibet work forum of the CPC central committee[J]. Journal of Tibet University, 2021, 36(1): 175-185.]

[13] 董建红, 张志斌, 笪晓军, 等. “三生”空间视角下土地利用转型的生态环境效应及驱动力分析——以甘肃省为例[J]. 生态学报, 2021, 41(15): 1-11. [Dong Jianhong, Zhang Zhibin, Da Xiaojun, et al. Eco-environmental effects of land use transformation and its driving forces from the perspective of “production-living-ecological” space: A case study of Gansu Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(15): 1-11.]

[14] 焦庚英, 杨效忠, 黄志强, 等. 县域“三生空间”格局与功能演变特征及可能影响因素分析——以江西婺源县为例[J]. 自然资源学报, 2021, 36(5): 1252-1267. [Jiao Gengying, Yang Xiaozhong, Huang Zhiqiang, et al. Evolution characteristics and possible impact factors for the changing pattern and function of “production-living-ecological” space in Wuyuan County[J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(5): 1252-1267.]

[15] 王全喜, 孙鹏举, 刘学录, 等. 黄土丘陵沟壑区“三生”空间的功能权衡与协同时空格局分析——以武山县为例[J]. 中国农业资源与区划, 2020, 41(11): 122-130. [Wang Quanxi, Sun Pengju, Liu Xuelu, et al. Analysis on spatial-temporal pattern of trade-offs and synergies of “production-living-ecological” function in loess hilly and gully region: A case study of Wushan County[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2020, 41(11): 122-130.]

[16] 于正松, 程叶青, 李小建, 等. 工业镇“生产-生活-生态”空间演化过程、动因与重构——以河南省曲沟镇为例[J]. 地理科学, 2020, 40(4): 646-656. [Yu Zhengsong, Cheng Yeqing, Li Xiaojian, et al. Spatial evolution process, motivation and restructuring of “production-living-ecology” in industrial town: A case study on Qugou Town in Henan Province[J]. Scientia Geographica Sinica, 2020, 40(4): 646-656.]

[17] 范艺娜, 王鹏飞, 安维亮. 生产变迁下乡村生产-生活-生态空间演变分析——山西省堡里村为例[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2020, 41(6): 41-50. [Fan Yina, Wang Pengfei, An Weiliang. Analysis on the spatial evolution of production-living-ecological space under the production evolution: A case study of Buli Village, Shanxi Province[J]. Journal of Capital Normal University (Natural Science Edition), 2020, 41(6): 41-50.]

[18] 刘鹏飞, 孙斌栋. 中国城市生产、生活、生态空间质量水平格局与相关因素分析[J]. 地理研究, 2020, 39(1): 13-24. [Liu Pengfei, Sun Bindong. The spatial pattern of urban production-living-ecological space quality and its related factors in China[J]. Geographical Research, 2020, 39(1): 13-24.]

[19] 邹艳, 张绍良, 谢译诣, 等. 徐州市三生空间分布格局与时空演化特征分析[J]. 测绘科学, 2020, 45(7): 154-162. [Zou Yan, Zhao Shaoliang, Xie Yiyi, et al. Spatial distribution and evolution characters of production-living-ecological spaces in Xuzhou City[J]. Science of Surveying and Mapping, 2020, 45(7): 154-162.]

[20] 廖李红, 戴文远, 陈娟, 等. 平潭岛快速城市化进程中三生空间冲突分析[J]. 资源科学, 2017, 39(10): 1823-1833. [Liao Lihong, Dai Wenyuan, Chen Juan, et al. Spatial conflict between ecological-production-living spaces on Pingtan Island during rapid urbanization[J]. Resources Science, 2017, 39(10): 1823-1833.]

[21] 李欣, 方斌, 殷如梦, 等. 江苏省县域“三生”功能时空变化及协同/权衡关系[J]. 自然资源学报, 2019, 34(11): 2363-2377. [Li Xin, Fang Bin, Yin Rumeng, et al. Spatial-temporal change and collaboration/trade-off relationship of “production-living-ecological” functions in county area of Jiangsu Province[J]. Journal of Natural Resources, 2019, 34(11): 2363-2377.]

[22] 李红波, 吴江国, 张小林, 等. “苏南模式”下乡村工业用地的分布特征及形成机制[J]. 经济地理, 2018, 38(1): 152-159. [Li Hongbo, Wu Jiangguo, Zhang Xiaolin, et al. The distribution characteristics and mechanism of the rural industrial land with the “southern Jiangsu pattern”[J]. Economic Geography, 2018, 38(1): 152-159.]

[23] 林佳, 宋戈, 张莹. 国土空间系统“三生”功能协同演化机制研究——以阜新市为例[J]. 中国土地科学, 2019, 33(4): 9-17. [Lin Jia, Song Ge, Zhang Ying. Synergistic evolution mechanism of “production-living-ecology” functions in spatial planning system: A case study of Fuxin City[J]. China Land Science, 2019, 33(4): 9-17.]

[24] 李伯华, 曹灿, 窦银娣, 等. 基于“三生”空间的传统村落人居环境演变及驱动机制[J]. 地理科学进展, 2018, 37(5): 677-687. [Li Bohua, Cao Can, Dou Yindi, et al. Change of human settlement environment and driving mechanism in traditional villages on living-production-ecological space[J]. Progress in Geography, 2018, 37(5): 677-687.]

[25] 马彩虹, 任志远, 李小燕. 黄土台塬区土地利用转移流及空间集聚特征分析[J]. 地理学报, 2013, 68(2): 257-267. [Ma Caihong, Ren Zhiyuan, Li Xiaoyan. Land use change flow and its spatial agglomeration in the loess platform region[J]. Acta Geographica Sinica, 2013, 68(2): 257-267.]

[26] 马彩虹, 贾科利, 邹淑燕, 等. 土地转移流视角下土地利用变化过程追踪方法探讨——以宁夏中部干旱带盐池县为例[J]. 西北师范大学学报(自然科学版), 2017, 53(4): 101-106. [Ma Caihong, Jia Keli, Zou Shuyan, et al. Study on tracing method of land use change process based on the perspective of land use transfer flow: A case study in Yanchi County in arid area of central Ningxia Hui Autonomous Region[J]. Journal of Northwest Normal University (Natural Science), 2017, 53(4): 101-106.]

[27] 刘继来, 刘彦随, 李裕瑞. 中国“三生空间”分类评价与时空格局分析[J]. 地理学报, 2017, 72(7): 1290-1304. [Liu Jilai, Liu Yansui, Li Yurui. Classification evaluation and spatial-temporal analysis of production-living-ecological spaces in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(7): 1290-1304.]

[28] 杨清可, 段学军, 王磊, 等. 基于“三生空间”的土地利用转型与生态环境效应——以长江三角洲核心区为例[J]. 地理科学, 2018, 38(1): 97-106. [Yang Qingke, Duan Xuejun, Wang Lei, et al. Land use transformation based on ecological-production-living spaces and associated eco-environment effects: A case study in the

Yangtze River Delta[J]. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(1): 97-106.]

[29] 李宏志, 汤燕良. 由被动协调的"三规合一"走向主动统筹的空间规划——以固原市原州区空间规划为例[J]. 规划师, 2017, 33(8): 78-84. [Li Hongzhi, Tang Yanliang. From passively coordinated "three rules in one" to actively coordinated spatial planning: A case study of Guyuan Yuanzhou District spatial planning [J]. Planners, 2017, 33(8): 78-84.]

Evolution of territorial spatial pattern and its driving mechanism based on land use transfer flow: A case of Yuanzhou District in Ningxia

MA Caihong, AN Siwen, WEN Qi, HUA Yuqi, LI Conghui

(School of Geography and Planning, Ningxia University, Yinchuan 750021, Ningxia, China)

Abstract: Based on the analysis of land use transfer flow, social network analysis method, and kernel density analysis method, this paper explores the evolution of land spatial patterns and their dynamic mechanism of Yuanzhou District, Guyuan City, southern Ningxia, China from 2000 to 2018. The main results are as follows. (1) The land use structure of production-living-ecological space has changed from 44.76%, 2.90%, and 52.34% in 2000 to 41.17%, 6.29%, and 52.54% in 2018, respectively, showing the decrease in production land, a considerable expansion of living land, and a weak expansion of ecological land use. (2) Dryland, forest land, natural grassland, and other grassland are important land types that affect land use transfer in Yuanzhou District. The land use transfer among the major land types determines the basic framework of the production-living-ecological space land transfer network in the Yuanzhou District. Reflecting the orientation that "ecological space is represented by beautiful mountains and clear waters", the areas converted to ecological land mainly occur in regions unsuitable for agriculture and human habitation. In areas with suitable slopes, farmland is changed, and irrigation conditions are enhanced to improve the intensive use of water and soil resources, reflecting the guiding principle of "production space is represented by intensive and efficient production". The expansion of living space occurs in gentle river valleys with suitable living conditions, reflecting the orientation of "living space is livable". (3) The overall characteristics of the production-living-ecological space evolution are as follows: The humid region of Liupan Mountain is a high-value region extending from north to south. The loess hilly and gully region is a scattered high-value region. Sanying Town, Touying Town, and Huangduopu Town in the Qingshui River Valley are high-value regions of surface shape. Guanting Town is an important area centered on the county seat. The transfer flows of different major land types show different spatial agglomeration characteristics. (4) The evolution of land spatial patterns in Yuanzhou District was driven by rural human settlement construction, urbanization and industrialization, intensive use of water and soil resources, and ecological construction. This was addressed by the flow of land use transfer and resulted from the evolution of the quantitative structure and spatial patterns of production-ecological space. As a result, a dynamic mechanism of production-living-ecological space transmission was proposed in Yuanzhou District. Ecological construction was found to be the most important driving force of spatial pattern evolution in Yuanzhou District, followed by intensive use of water and soil resources, contributing 49.40% and 31.01% to the spatial evolution of production-living-ecological space in Yuanzhou District, respectively. Soil and water loss is still an important driving force for land conversion to unused land, accounting for 13.02%. Based on land use transfer flow trace analysis, the driving mechanism analysis method provides a new perspective and approach for research on the driving forces of territorial spatial evolution.

Key words: territorial spatial optimization; production-living-ecological space; land use transfer flow; driving mechanism; Yuanzhou District